Extended Nursery Rearing Compromises Field Performance of Container-reared Conifer Seedlings

P.O. Salonius, R.D. Hallett, K.P. Beaton, and C. French

Information Report M-X-214E

Canadian Forest Service - Atlantic Forestry Centre

Natural Resources Canada | Ressources naturelles Canada

Canada

102-06751/

Extended Nursery Rearing Compromises Field Performance of Container-reared Conifer Seedlings

P.O. Salonius, R.D. Hallett, K.P. Beaton, and C. French

Information Report M-X-214E

Natural Resources Canada
Canadian Forest Service - Atlantic Forestry Centre
P.O. Box 4000
Fredericton, New Brunswick
E3B 5P7 CANADA

2002

© Her Majesty the Queen in right of Canada 2002

ISSN: 1195-3799
ISBN: 0-662-32510-9
Cat. No: Fo46-19/214E

Additional copies of this publication are available in limited quantities at no charge from:

Natural Resources Canada,
Canadian Forest Service - Atlantic Forestry Centre
P.O. Box 4000
Fredericton, N.B. E3B 5P7
CANADA
Fax: (506) 452-3525

Photocopies or microfiches of this publication may also be purchased from:

Micromedia Ltd.
240 Catherine Street, Suite 305
Ottawa, ON K2P 2G8
Tel: (613) 237-4250
Toll Free: 1-800-567-1914
Fax: (613) 237-4251

Une copie française de ce rapport est disponible sur demande.

National Library of Canada Cataloguing in Publication Data

Main entry under title :

Extended nursery rearing compromises field performance of container-reared conifer seedlings

(Information report, ISSN 1195-3799 ; M-X-214E)
Issued also in French under title: L'élevage prolongé en pépinière porte atteinte au rendement sur le terrain des semis de résineux cultivés en conteneur.
Includes bibliographical references.
ISBN 0-662-32510-9
Cat. no. Fo46-19/214E

1. Conifers — Seedlings, Container.
2. Conifers — Growth.
I. Salonius, P.O.
II. Atlantic Forestry Centre.
III. Series: Information report (Atlantic Forestry Centre) ; M-X-214E.

SD397.C7E97 2002 634.9'564 C2002-980170-2

Summary

Commercial nurseries often grow containerized conifer seedlings for extended periods to reach predetermined size and shoot:root ratio targets in order to enhance field survival. The consequences of this practice are addressed. White spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss), red spruce (*Picea rubens* Sarg.) and eastern white pine (*Pinus strobus* L.) were grown in three hardwall container types and three mesh-covered soil plug types. Seedlings were grown either (a) for a short period designed to produce sufficient rooting in hardwall plugs to facilitate extraction and handling or (b) for an extended growing period, designed to produce large seedlings with low shoot:root ratios. At the end of four growing seasons, the field growth of smaller seedlings from short rearing regimes was consistently greater than field growth of seedlings from extended rearing regimes. Implications for nursery practice are discussed.

Key words: field growth, hardwall containers, mesh-covered plugs, seedling size, shoot:root ratio

Resumé

Les pépinières commerciales cultivent souvent en conteneurs des semis de résineux pendant de longues périodes pour atteindre des objectifs prédéterminés au chapitre de la taille et du rapport système racinaire/système foliacé (SR/SF) dans le but d'améliorer la survie sur le terrain. Les auteurs étudient les effets de cette pratique. Des jeunes plants d'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss), d'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) et de pin blanc (*Pinus strobus* L.) ont été cultivés dans trois sortes de conteneurs rigides et dans trois types de mottes entourées d'un filet. Ils ont été cultivés ou bien a) pendant une courte période afin de produire assez de racines dans les alvéoles rigides pour en faciliter l'extraction et la manutention, ou bien b) pendant une longue période pour produire des jeunes plants de bonne taille au faible rapport SR/SF. Après quatre saisons de végétation, la croissance en plein champ des plus petits semis élevés pendant une courte période a été régulièrement plus forte que celle des semis qui avaient été soumis à un élevage prolongé. Les auteurs discutent des répercussions de cette constatation sur les pratiques des pépinières.

Mots clés : conteneurs rigides, croissance en plein champ, mottes entourées d'un filet, rapport système racinaire/système foliacé, taille des semis

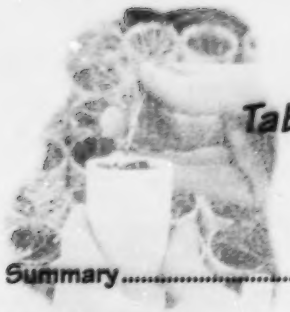


Table of Contents

Summary 3

Introduction 7

Materials and Methods 9

Results 12

Hardwall 12

Jiffy 14

Discussion 18

Acknowledgments 19

References 20

INTRODUCTION

Incentives for developing conifer seedlings with enhanced competitive advantages have been provided by restrictions on planting-site preparation by fire and mechanical scarification (Newton et al. 1993) and reductions in or elimination of the use of chemical herbicides (Jobidon et al. 1998). Various studies have shown that larger seedlings have a growth advantage compared to smaller seedlings in plantations, especially when competing vegetation is vigorous (Dobbs 1976, Walker and Johnson 1980, van den Driessche 1982, Caulfield et al. 1987, Sutherland and Newsome 1988, Newton et al. 1993, South and Mason 1993). Many of these studies involved bareroot seedlings that were often grown at different densities in the nursery to produce various seedling sizes, or they were comparisons between bareroot and container-grown seedlings.

Studies comparing the field growth of container-reared seedlings have also demonstrated the advantages of large seedlings over small seedlings; containers with larger cavities were used to produce larger seedlings (McMinn 1982, Simpson 1991, Jobidon et al. 1998). McMinn (1982) suggested that the use of large container-grown seedlings, without planting-site preparation, may be a feasible alternative to planting small container stock on mechanically prepared sites. Container stock quality must be maintained if the performance expectations of larger seedlings are to be realized (McMinn 1982). A high root-growth capacity is especially important for large container-reared seedlings (Jobidon et al. 1998).

Timmis and Tanaka (1976) suggested that growing conifers in same-sized container cells at increasingly wider spacings produced seedlings with morphological characteristics, such as higher dry weight and sturdiness, that improve field performance. However, Salonius et al. (2000) have shown that, during the hardening of nursery-grown seedlings in container configurations at wide spacings, root growth within the confines of the soil plug is excessive enough to produce root densities that reduce subsequent root growth in the field.

Current nursery practice often relies on extended growing regimes in containers to attain predetermined size specifications and to affect a lowering of the shoot:root ratio. The cultural lowering of shoot:root ratios by extended rearing to produce "balanced" seedlings capable of resisting evapotranspiration stress after outplanting, although imperative for bareroot stock, has been shown to be less necessary or even counterproductive for container-reared conifers (Walker and Johnson 1980, McGilvray and Barnett 1982, Barnett and Brissette 1986, Bernier et al. 1995). Bernier et al. (1995) suggested that low shoot:root ratios for containerized conifer seedlings may indicate an overgrown root system with large suberized roots, tightly packed inside the container cavity. The negative effects on seedling growth of increasing root density within the confines of the container cavity, even before adequate root growth has occurred to bind the soil plug together, have been demonstrated (Salonius et al. 2000, Balisky et al. 1995, Endean and Carlson 1975).

Kinghorn (1978) suggested that root shaping and deformation commence as soon as any roots extend to the bounds of the container. Martinsson (1986) stated that no container system can satisfy the demand for growing space for roots and, therefore, the longer seedlings have been grown within the confines of container cavities the worse will be the resulting root deformation. Barnett and Brissette (1986) came to similar conclusions regarding duration in containers.

Our early work with a multitude of hardwall container seedling stock types (unpublished) showed correlations between field performance and either nursery root weight or shoot:root ratio to be very poor while correlations between field performance and shoot volume, shoot weight and stem diameter were high. These observations were consistent with the finding that current photosynthate production is the primary energy source for the new root growth that is essential for good field performance (Philipson 1987, van den Driessche 1987). The effects of container-induced root deformities on plantation stability (Lindgren and Orlander 1978, Burdett et al. 1986) and planted seedling growth rates compared to naturally regenerated seedlings (Halter et al. 1993) have received attention. However, there has not been a study specifically directed towards a comparison of the field performance of early planted seedlings with seedlings planted after extended rearing in the same container system.

The study presented here reports the field performance of three conifer species grown in three hardwall and three mesh-covered plug container types. The field growth performance of early planted seedlings is compared with the performance of seedlings that were exposed to prolonged nursery rearing designed to lower shoot:root ratio and increase seedling size.

MATERIALS AND METHODS

Three conifer species were included in these experiments: white spruce (*Picea glauca* [Moench] Voss), red spruce (*Picea rubens* Sarg.), and white pine (*Pinus strobus* L.). Seedlings were grown in three sizes of hardwall multipots and three sizes of JIFFY® mesh-covered plugs (Table 1).

Hardwall cavities were filled with a moist peat:vermiculite (2:1) mix. They were seeded and then a thin layer of limestone grit was applied over the seed. Unexpanded JIFFY plugs (fine peat) were seeded and covered with a thin layer of paper tissue, over which a thin layer of limestone grit was applied to hold the seed in place.

Longer rearing time was allowed for formats with larger soil plugs (Table 1). A comparison summer crop, seeded May 2, was grown in IPL 45-90 and Jiffy 96 only. All three species were seeded on each date. Immediately after seeding, regular mist irrigation was applied with a fertilizer solution (forestry starter) at ten parts per million (ppm) nitrogen for the 20-day germination period. Supplemental light was supplied for 2 hours each night to prevent bud formation in response to short daylength. The greenhouse was maintained at 25°C during the germination period.

When germination of the winter crops was complete, seedlings were thinned to one per soil plug or cavity and they were moved into a greenhouse that was operated at a day temperature of 22°C and a night temperature of 18°C. During the first 2 weeks following the germination period, forestry starter solution was applied at 20 ppm nitrogen. Irrigation with this solution was carried out at least three times weekly, sufficient to produce both soil saturation and drip from the bottom of the soil plug. This irrigation regime ensured that nutrient concentrations would be the same in the soil plugs of all container types.

Table 1. Sizes and seeding dates of multi-pot and mesh-covered soil plugs

Container	Top Diameter (mm)	Soil Volume (cm^3)	Seeding Date
STYROFLUG 415D	42	170	4/1
IPL 45-90	38	90	7/2
ROPAK 1-67	32	57	14/3
JIFFY 70	45	90	4/1
JIFFY 98	38	78	7/2
JIFFY 140	32	50	14/3

Forestry grower solution at 50 ppm nitrogen was applied from 5 weeks after seeding until the crops were heavily leached to lower soil nutrient levels. After leaching, the seedlings were irrigated with water for a week to slow growth rates at the start of the hardening period (June 12–19). Following this week of water application, forestry finisher solution was applied at 35 ppm nitrogen, starting June 20. All winter-reared crops were moved out of doors on June 27 to assist in the transition to less succulent growth during hardening. That portion of the winter crop not submitted to extended rearing, was field planted in mid-July over a period of 2 days. That portion of the winter crop that was subjected to extended rearing remained in the outside growing area until frost hardiness to –15°C was determined. These seedlings were frozen for overwinter storage at the end of October, as is standard practice.

The summer crops, which were reared under the same nutrient, irrigation, and temperature conditions, had supplemental night lighting withdrawn as leaching commenced on August 23. These crops, after setting bud, received forestry finisher solution and extended greenhouse culture during hardening (Columbo et al. 1989). They were frozen for winter storage after frost hardiness to –15°C was determined.

The winter crop of JIFFY plugs held in the nursery for extended rearing developed many root connections between adjacent soil plugs; this was also the case for JIFFYs reared as a summer crop as a result of extended root growth after bud set. These root connections had to be cut in order to separate the seedlings from each other. No cutting was required for the JIFFY winter crops that were outplanted in July as these plugs had very few fine root connections. Two cutting treatments were compared for the winter-reared crops held in the nursery for extended growing. Early root cutting was done September 5 to allow healing of severed roots during the autumn hardening period. The late root cutting was done October 28, just before the seedlings were placed in freezer storage; this treatment did not allow for any repair of severed roots. The root cutting for summer-reared JIFFY 96 was conducted December 12, just before the seedlings were frozen.

There were a total of 40 seedlings for each treatment available for destructive sampling and 40 seedlings available for outplanting. The data for summer-reared crops were obtained from 20 seedlings for destructive measurements and 20 seedlings for outplanting. The height and root collar diameter of each seedling were measured just before winter-reared crops were to be early planted (July) or just before winter crops from extended rearing or summer crops were frozen for winter storage. Soil was washed from the roots, then all shoots and all roots from individual treatments were oven dried in a pooled sample. The frozen seedlings were thawed for 48 hours at 20°C and planted directly from freezer boxes the following May. Measurements of height and root collar diameter, both at the end of the rearing period and after several years of growth in the field, allowed comparisons of seedling volume, which was calculated by multiplication of root collar diameter (rcd) squared times height (ht); this product ($rcd^2.ht$) has been found to correlate well with seedling shoot weight (Kira and Shidei 1967, Ruehle 1982, Methven 1983, Wagner et al. 1989). Pooled oven-dry shoot and root weights, determined at the end of nursery rearing, allowed shoot:root ratios to be calculated.

Seedlings were field planted in a former bareroot nursery in five-tree rows running north-south in tilled strips running east-west. Population numbers were randomly assigned to the five-tree rows at the outset, such that there were eight rows for each (four planted 1994, four planted 1995) of the winter-reared treatments and four rows for each of the summer-reared treatments. After early planting of winter-reared crops in July 1994 was complete, the remaining rows were unoccupied until seedlings that had been stored frozen were planted in May 1995. The five-tree rows were 38 cm apart and the seedlings within the rows were 25 cm apart.

Field measurements were carried out in August 1997. At this time, the winter crops planted in July 1994 had been growing in the field for four seasons. Their counterparts, which had been exposed to extended nursery rearing and then frozen overwinter, had been in the field for three growing seasons, as had the summer-reared crops which had also been stored frozen before outplanting in May of 1995.

RESULTS

Hardwall

White spruce seedling volumes for the three hardwall container types, at the time of planting and after several growing seasons in the field, are shown in Fig. 1. Winter-crop seedlings that were planted from frozen storage in May 1995 were larger, with reduced shoot:root ratios, than their counterparts were when planted early in July 1994 (Table 2). This advantage in plant size was lost when final field measurements were done in August 1997. The loss of this advantage in plant size was similar for each of the three hardwall container types (Fig. 1). The field performance of the white spruce summer crop reared in IPL 45-90 containers, (frozen December 12, 1994) was intermediate between the early planted and extended- reared winter crops; these seedlings resided in the container cavities for a considerably shorter period than the extended-reared winter crop. The planted shoot:root ratios of both summer-reared and extended-reared winter crop seedlings from IPL 45-90 containers were lower than that of the winter-crop seedlings when planted early in July 1994 (Table 2).

This field-response pattern was repeated for red spruce from the three hardwall container types (Fig. 2), where early planted seedlings were larger in August 1997 than seedlings that had been held in the nursery to gain size and reduce shoot:root ratios before planting in May 1995 (Table 2). Although the field growth of summer-reared red spruce from IPL 45-90 containers was intermediate in volume between early planted and extended-reared crops in August 1997, the mean shoot:root ratio of these summer-crop seedlings at planting was the same as that for the extended-reared winter crop and much lower than that of the red spruce winter-crop seedlings that were planted in July 1994 (Table 2).

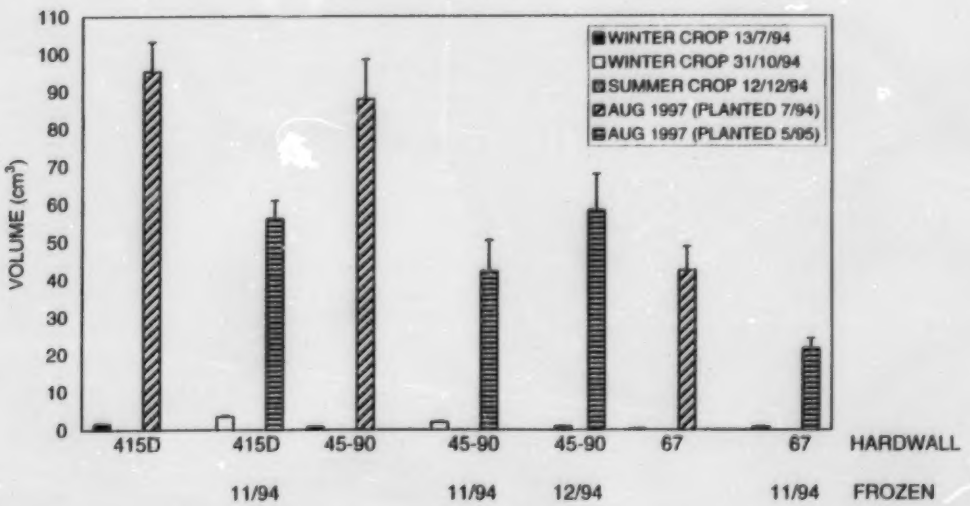


Figure 1. Mean volumes (± SE) of early planted and extended-reared white spruce seedlings grown in hardwall containers, at planting and after several field seasons.

Table 2. Sizes and seeding dates of multi-pot and mesh-covered soil plugs

				White spruce			Red spruce			White pine		
Container	Crop	Roots cut	Planted	Height (cm)	RCD (mm)	S/R	Height (cm)	RCD (mm)	S/R	Height (cm)	RCD (mm)	S/R
415D	Winter	-	7/94	20.1±0.54	2.6±0.07	5.03	25.7±0.73	2.3±0.08	4.77	9.9±0.41	2.6±0.06	3.17
415D	Winter	-	5/95	23.5±1.13	3.6±0.10	2.84	34.2±0.84	3.0±0.10	2.85	10.9±0.66	2.9±0.10	1.73
70	Winter	-	7/94	15.4±0.54	1.9±0.07	7.37	20.8±0.47	1.8±0.06	7.27	9.4±0.47	2.2±0.06	5.56
70	Winter	9/94	5/95	19.2±0.87	3.1±0.10	4.38	27.3±0.66	2.5±0.08	5.10	10.3±0.56	2.9±0.10	3.39
70	Winter	10/94	5/95	19.1±0.85	3.0±0.11	4.35	32.3±0.98	2.8±0.11	5.29	10.6±0.47	2.6±0.10	3.48
45-90	Winter	-	7/94	17.9±0.50	1.9±0.07	4.98	18.5±0.61	1.6±0.07	5.00	9.4±0.30	1.7±0.04	4.13
45-90	Winter	-	5/95	21.1±0.82	2.9±0.10	3.31	28.3±0.90	2.3±0.09	3.68	10.2±0.38	2.3±0.07	1.72
45-90	Summer	-	5/95	21.5±0.70	2.0±0.07	4.17	22.2±0.57	1.7±0.08	3.68	8.4±0.37	1.5±0.10	2.00
96	Winter	-	7/94	18.1±0.82	2.0±0.06	10.83	20.4±0.48	1.8±0.06	9.35	9.5±0.37	2.3±0.06	7.30
96	Winter	9/94	5/95	18.9±0.83	2.6±0.12	6.88	29.7±1.01	2.4±0.08	8.99	10.4±0.55	2.3±0.06	5.92
96	Winter	10/94	5/95	19.6±0.77	2.8±0.11	6.26	29.7±1.03	2.4±0.09	9.25	9.6±.033	2.3±0.07	6.29
96	Summer	12/94	5/95	22.2±0.97	2.0±0.11	9.88	21.4±0.88	1.9±0.08	5.60	7.2±0.27	1.4±0.08	7.58
67	Winter	-	7/94	12.3±0.31	1.5±0.05	4.64	13.5±0.34	1.3±0.04	5.15	8.1±0.20	1.7±0.06	3.95
67	Winter	-	5/95	14.3±0.78	2.1±0.08	2.74	23.5±0.57	1.7±0.06	3.54	9.6±0.36	1.9±0.06	1.59
140	Winter	-	7/94	15.2±0.53	1.5±0.06	10.69	13.7±0.44	1.2±0.05	8.50	8.0±0.20	1.7±0.05	6.78
140	Winter	9/94	5/95	17.1±0.92	2.4±0.09	5.98	22.1±0.68	1.7±0.06	7.82	9.3±0.39	2.1±0.07	4.29
140	Winter	10/94	5/95	17.0±0.83	2.4±0.08	6.68	20.0±0.97	1.6±0.09	6.26	8.8±0.32	1.9±0.07	5.21

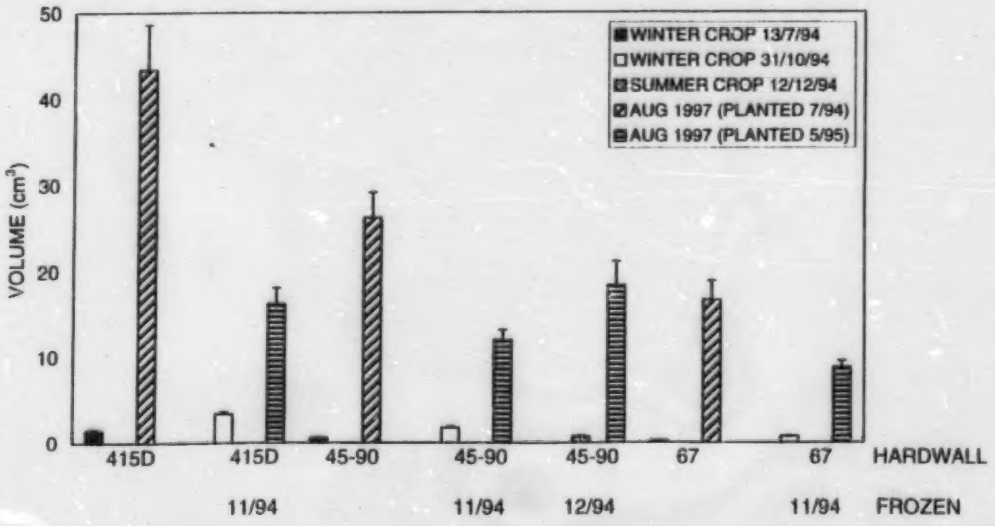


Figure 2. Mean volumes (± SE) of early planted and extended-reared red spruce seedlings grown in hardwall containers, at planting and after several field seasons.

The results for the white pine crops reared in the three hardwall container types (Fig. 3) show the superior field performance of the early planted winter crops in comparison with their extended-reared counterparts. The field performance of the summer-reared white pine was poorer than that of the extended winter crop even though its shoot:root ratio at planting was intermediate between that of the extended-reared and the early planted winter crops (Table 2).

Jiffy

The graphic presentation of results from the JIFFY (mesh-covered plug) rearing system is more complex because there were two groups of seedlings from the extended-reared winter crops. One of these groups had bridging roots between adjacent plugs cut early (September 5, 1994) while the other group had root connections cut just before they were frozen for winter storage (October 28, 1994).

Field performance of white spruce crops reared in each of the three JIFFY formats for extended periods was markedly inferior to their early planted counterparts (Fig. 4). The volumes of extended-reared winter-crop white spruce at outplanting in May 1995 were generally double those of their July 1994 planted counterparts at the end of their nursery residence, and the volume accumulation of these extended-reared crops was less than half that achieved by the early planted groups after several field growing seasons. The summer-reared white spruce crop from JIFFY 96 had a shoot:root ratio that was intermediate between the ratio for extended-reared seedlings that were late cut and the ratio for early planted winter crops at the time of planting (Table 2). For winter-crop white spruce JIFFYs that were extended

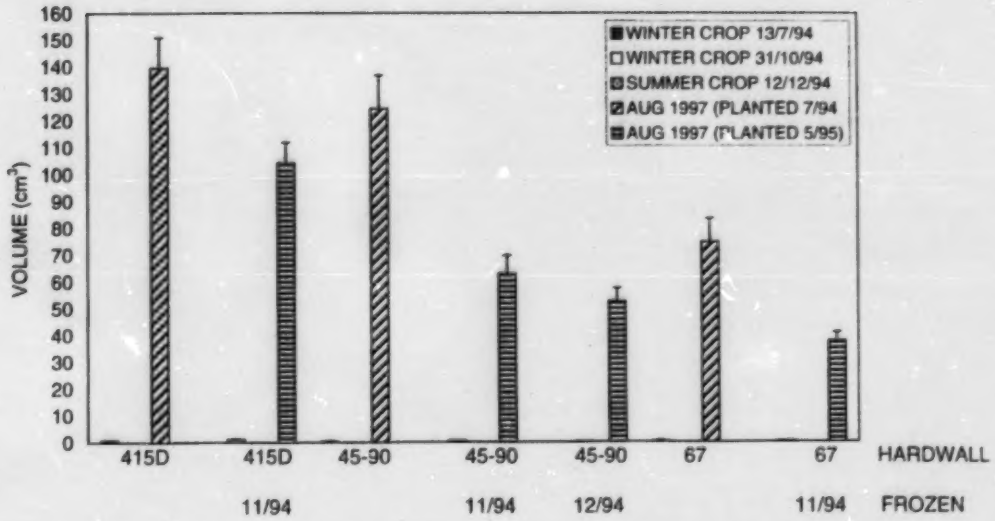


Figure 3. Mean volumes (± SE) of early planted and extended-reared white pine seedlings grown in hardwall containers, at planting and after several field seasons.

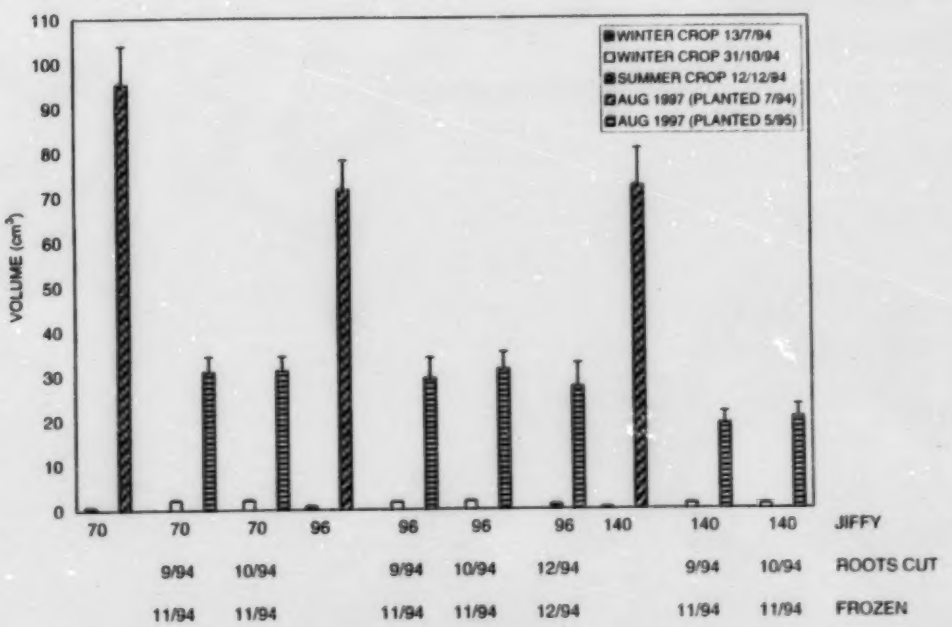


Figure 4. Mean volumes (± SE) of early planted and extended-reared (early and late root-cut) white spruce seedlings grown in JIFFY plugs, at planting and after several field seasons.

reared, there was little difference in field performance between seedlings subjected to September root cutting (9/94) and those whose root connections were severed in late October just before they were frozen for winter storage (10/94) (Fig. 4).

Red spruce seedling volumes for the three JIFFY types, at the time of planting and after several growth seasons in the field, are shown in Fig. 5. Although the volume of extended-reared seedlings was much higher than the volume of early planted winter-crop seedlings at the time of planting, the extended-reared seedlings were considerably smaller after several field growing seasons. The summer crop from JIFFY 96 had a lower shoot:root ratio than either the early cut, late cut, or July 1994 winter crops at the time of planting (Table 2). The field volume results for red spruce JIFFY seedlings whose roots were cut in September (9/94) or in late October (10/94) are not consistent; for JIFFY 70 and 140 sizes, late cutting resulted in better volume accumulation in the field; however, for JIFFY 96, early cutting resulted in better growth.

The volumes of seedlings when planted in the field and at final measurement in August 1997, for white pine reared in the three sizes of JIFFY, are shown in Fig. 6. The field volume accumulation of extended-reared crops was much lower compared with the volume growth of early planted winter crops. The performance of summer-reared seedlings in JIFFY 96 was intermediate between early and late root-cut treatments, as was the case for red spruce. The shoot:root ratio of the summer-reared seedlings was higher than either the late-cut winter crop or the July-planted winter crop at the time of field planting.

The reason for extended rearing in common nursery practice is to build larger seedlings with improved survival; mortality in this outplanting study was almost non-existant.

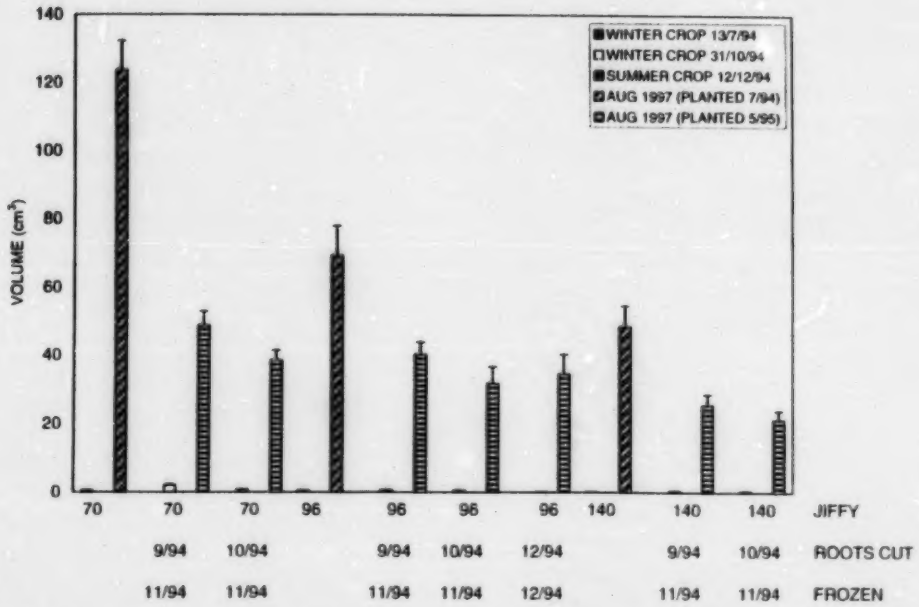


Figure 5. Mean volumes (± SE) of early planted and extended-reared (early and late root-cut) red spruce seedlings grown in JIFFY plugs, at planting and after several field seasons.

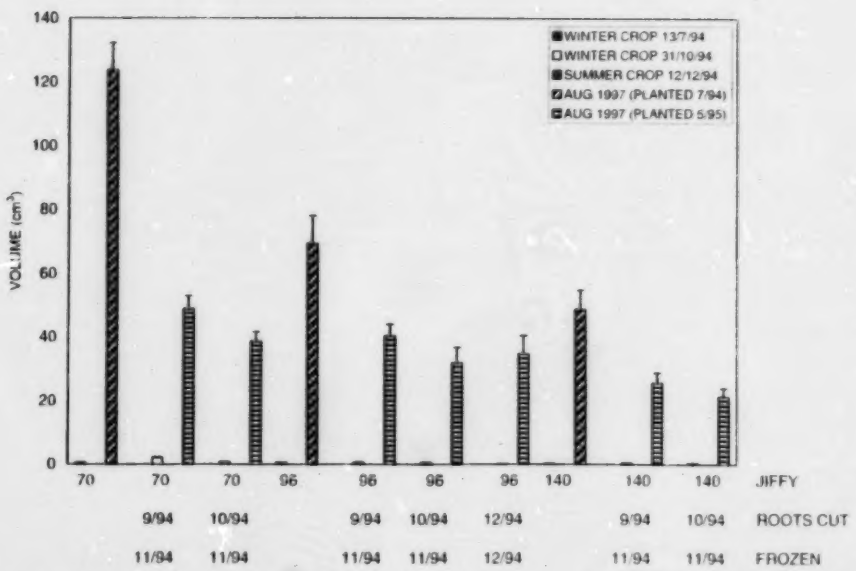


Figure 6. Mean volumes (± SE) of early planted and extended-reared (early and late root-cut) white pine seedlings grown in JIFFY plugs, at planting and after several field seasons.

DISCUSSION

Extended nursery rearing, which is commonly practised to produce larger containerized conifer seedlings with lower shoot:root ratios for enhanced survival, has been shown to be consistently counterproductive to growth for three species of conifers in three hardwall and three mesh-covered plug container systems. This supports the conclusions of Bernier et al. (1995), who suggested that a low shoot:root ratio for container-reared seedlings can indicate an overly developed root system with large, unresponsive, suberized roots tightly packed inside the container cavity. Seedlings with such dense root systems in the containerized soil plug are often referred to as "rootbound." The results of the study presented here suggest that, if there is any relationship between the shoot:root ratio of container seedlings at planting and their subsequent field performance, that relationship appears to be negative; crops with higher shoot:root ratios grew best. Such a negative relationship between the shoot:root ratios of outplanted container seedlings and height growth in the field was also reported by McGilvray and Barnett (1982).

The shoot:root ratios of seedlings reared in JIFFY systems are always higher than those of seedlings reared in hardwall systems with similar plug sizes because of higher seedling density. Higher density or crowding of seedlings has been shown to produce higher shoot:root ratios for container-grown seedlings (Salonius et al. 2000, Simpson 1991, Timmis & Tanaka 1976); the mesh-covered plugs in the JIFFY systems have no space between adjacent soil plugs, but, in hardwall systems, there is always some distance between adjacent soil cavities.

Salonius et al. (2000) and Bernier et al. (1995) have referred to the importance of rapid root extension to seedling performance after outplanting. Based on the contention of Martinsson (1986) and the results of Balisky et al. (1995) and Barnett and Brissette (1986) regarding the effect of container residence time on root form, the poor field performance of the extended-reared seedlings in this study may be due to root deformation and the resultant decreased ability to rapidly extend new roots into the soil on the planting site for water and nutrient acquisition.

Rearing protocols for hardwall-container systems require sufficient root growth within the cavity to hold the soil plug together, however the work of Endean and Carlson (1975) has shown that increasing root density begins to restrict seedling growth very early during container rearing. Selby and Seaby (1982) demonstrated the short time during which primary lateral roots could be formed after seed germination; this short time suggests that primary lateral roots will usually be seriously deformed in most container systems. High correlations between increasing root density in walled container systems, and decreasing field root growth have been reported (Salonius et al. 2000). The reorientation of primary lateral roots from horizontal to vertical by cavity walls was identified by Kinghorn (1978) as one of the most important weaknesses in hardwall-container design. Seedlings reared in mesh-covered plugs have been shown to experience less root deformation than those in walled containers, even after prolonged rearing (Balisky et al. 1995). Root deformation can be eliminated entirely, if small seedling size is accepted at planting; seedlings in free-standing mesh-covered plugs like JIFFY can be planted any time after seeds have germinated because root-plug integrity is supplied by the mesh. Thus seedlings in these systems can be planted before any root deformation has occurred.

Although extended rearing produced growth disadvantages in both hardwall and mesh-covered plug rearing systems, there are differences in the effects of extended rearing on roots in the two systems. All roots produced in hardwall soil plugs are planted, although the root system of the extended-reared seedlings is more suberized, more densely packed, and less resilient than the roots of seedlings reared for shorter periods. In the JIFFY system, we have found an increasing number of active root tips of seedlings are found to have grown into the root plugs of adjacent seedlings as outplanting is delayed; these roots are lost during the cutting operation which is necessary to separate the individual cells from each other before planting. Burdett et al. (1986) speculated that pruning deformed container-grown primary lateral roots might allow these roots to resume their normal horizontal growth habit after outplanting. Bigras (1998) has demonstrated moderate field-growth increases, for extended-reared black spruce, as a result of moderate root pruning and small decreases in field growth as a result of heavy root damage by pruning. Studies have not been done to establish whether deformed lateral roots, pruned just below the root collar in the upper part of the soil plug, as they resume growth on the planting site from the pruned base, will function similarly to primary lateral roots that have not undergone confinement deformation. The results of comparisons of early root cutting, designed to allow a period of regrowth and repair, with cutting just before freezer storage, do not offer definitive guidance as to the best time to perform this operation.

Four months of extended nursery rearing with either hardwall or mesh-covered plug systems, designed to produce larger seedlings with lower shoot:root ratios, did not produce a field growth advantage and in fact this cultural practice was shown to be counterproductive in this study. Better field performance should be achieved with container seedlings whose root growth does not greatly exceed the capacity of the soil plug. This point would be reached when the roots of seedlings in hardwall containers bind the soil plug only sufficiently to facilitate extraction and handling without the soil falling off the roots. For mesh-covered soil-plug systems, this point would be reached before any significant root growth between adjacent soil plugs has occurred.

Vigorous seedlings, with juvenile responsive roots, that develop large stature and sturdiness in the field are more effective than seedlings that achieve large stature and sturdiness in the nursery during extended rearing within the confines of the container system.

ACKNOWLEDGMENTS

The technical assistance of B. Roze and the nursery operations provided by J. Lewis were greatly appreciated.

REFERENCES

Balisky, A.C., Salonius, P., Walli, C., and Brinkman, D. 1995. Seedling roots and the forest floor: misplaced and neglected aspects of British Columbia's reforestation effort? For. Chron. 71: 59–65.

Barnett, J.P., and Brissette, J.C. 1986. Producing southern pine seedlings in containers. USDA Forest Service, General Technical Report, SO-59, 71 p.

Bernier, P.Y., Lamhamedi, M.S., and Simpson, D.G. 1995. Shoot:root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. Tree Planters' Notes 46: 102–106.

Bigras, F.J. 1998. Field performance of containerized black spruce seedlings with root systems damaged by freezing or pruning. New Forests 15: 1–9.

Burdett, A.N., Coates, H., Ermko, R., and Martin, P.A.F. 1986. Toppling in British Columbia's lodgepole pine plantations: significance, cause and prevention. For. Chron. 62: 433–439.

Caulfield, J.P., South, D.B., and Boyer, J.N. 1987. Nursery seedbed density is determined by short-term and long-term objectives. South. J. Appl. For. 11: 9–14.

Columbo, S.J., Glerum, C., and Webb, D.P. 1989. Winter hardening in first-year black spruce (*Picea mariana*) seedlings. Physiol. Plant. 76: 1–9.

Dobbs, R.C. 1976. Effect of initial mass of white spruce and lodgepole pine planting stock on field performance in the British Columbia interior. Can. For. Serv. Inf. Rep., BC-X-149, 14 p.

Endean, F., and Carlson, L.W. 1975. The effect of rooting volume on the early growth of lodgepole pine seedlings. Can. J. For. Res. 5: 55–60.

Halter, M.R., Chanway, C.P., and Harper, G.J. 1993. Growth reduction and root formation of containerized lodgepole pine saplings 11 years after planting. For. Ecol. Manage. 56: 131–146.

Jobidon, R., Charette, L., and Bernier, P.Y. 1998. Initial size and competing vegetation effects on water stress and growth of *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. seedlings planted in three different environments. For. Ecol. Manage. 103: 293–305.

Kinghorn, J.M. 1978. Minimizing potential root problems through container design. *In* E. van Eerden and J.M. Kinghorn. (Eds.) Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium. British Columbia Ministry of Forests/ Canadian Forestry Service Joint Rep. No. 8. pp. 311–318.

Kira, T., and Shidei, T. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific. Jap. J. Ecol. 17: 70–87.

Lindgren, O., and Orlander, G. 1978. A study on root development and stability of 6- to 7-year-old container plants. *In* E. van Eerden and J.M. Kinghorn. (Eds.) Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium. British Columbia Ministry of Forests/ Canadian Forestry Service Joint Rep. No. 8. pp. 142–144.

Martinsson, O. 1986. Tap root formation and early root/shoot ratio of *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris*. Scand. J. For. Res. 1: 233–242.

McGilvray, J.M., and Barnett, J.P. 1982. Relating seedling morphology to field performance of containerized southern pines. *In* R.W. Guldin and J.P. Barnett. (Eds.) Proceedings, Southern containerized forest tree seedling conference. USDA Forest Service, General Technical Report, SO-37. pp. 39–46.

McMinn, R.G. 1982. Size of container-grown seedlings should be matched to site conditions. *In* J.B. Scarrat, C. Glerum, and C.A. Plexman. (Eds.) Proceedings of the Canadian Containerized Tree Seedling Symposium. Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, ON, COJFRC Symposium Proceedings O-P-10. pp. 307–312.

Methven, I.R. 1983. Tree biomass for young plantation growth of red pine (*Pinus resinosa*) in the Maritimes Lowland ecoregion. Canadian Forest Service, Information Report M-X-147. 15 p.

Newton, M., Cole, E.C., and White, D.E. 1993. Tall planting stock for enhanced growth and domination of brush in the Douglas-fir region. New Forests 7: 107–121.

Philipson, J.J. 1987. Root growth in Sitka spruce and Douglas-fir transplants: dependence on the shoot and stored carbohydrates. Tree Physiology 4: 101–108.

Ruehle, J.L. 1982. Field performance of container-grown loblolly pine seedlings with specific ectomycorrhizae on a reforestation site in South Carolina. South. J. Appl. For. 6: 30–33.

Salonius, P., Beaton, K., and Roze, B. 2000. Effects of cell size and spacing on root density and field performance of container-reared black spruce. Can. For. Serv. - Atl. For. Ctr. Inf. Rep. M-X-208E.

Selby, C., and Seaby, D.A. 1982. The effect of auxins on *Pinus contorta* seedling root development. Forestry 55: 125–135.

Simpson, D. 1991. Growing density and container volume affect nursery and field growth of interior spruce seedlings. North. J. Appl. For. 8: 160–165.

South, D.B., and Mason, W.L. 1993. Influence of differences in planting stock size on early height growth of Sitka spruce. Forestry 66: 83–96.

Sutherland, C., and Newsome, T. 1988. Field performance of five interior spruce stock types with and without fertilization at the time of planting. *In* T. Landis, (*Technical coordinator*). Proceedings, Combined Meeting of the Western Nursery Associations. USDA Forest Service General Technical Report, RM-167. pp. 195–198.

Timmis, R., and Tanaka, Y. 1976. Effects of container density and plant water stress on growth and cold hardiness of Douglas-fir seedlings. For. Sci. 22: 167–172.

van den Driessche, R. 1982. Relationship between spacing and nitrogen fertilization of seedlings in the nursery, seedling size, and outplanting performance. Can. J. For. Res. 12: 865–875.

Wagner, R.G., Peterson, T.D., Ross, D.W., and Radosevich, S. 1989. Competition thresholds for survival and growth of ponderosa pine seedlings associated with woody and herbaceous vegetation. New Forests 3: 151–170.

Walker, N.R., and Johnson, H.J. 1980. Containerized conifer seedling performance in Alberta and the Northwest Territories. Canadian Forest Service, Information Report NOR-X-218, 32 p.

L'ELEVAGE PROLONGÉ EN PÉPINIÈRE PORTE ATTEINTE AU RENDEMENT SUR LE TERRAIN DES SEMIS DE RÉSINEUX CULTIVÉS EN CONTENEUR

P.O. Salonius, R.D. Hallett, K.P. Beaton, et C. French

Rapport d'information M-X-214F

Service canadien des forêts - Centre de foresterie de l'Atlantique

Ressources naturelles Canada Natural Resources Canada

Canada

L'ELEVAGE PROLONGÉ EN PÉPINIÈRE PORTE ATTEINTE AU RENDEMENT SUR LE TERRAIN DES SEMIS DE RÉSINEUX CULTIVÉS EN CONTENEUR

P.O. Salonius, R.D. Hallett, K.P. Beaton, et C. French

Rapport d'information M-X-214F

Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts - Centre de foresterie de l'Atlantique
C.P. 4000
Fredericton (Nouveau-Brunswick)
E3B 5P7 CANADA

2002

© Sa majesté la Reine du Chef du Canada 2002

ISSN: 1195-3802
ISBN: 0-662-87487-0
N° de catalogue : Fo46-19/214F

Un nombre restreint d'exemplaires de cette publication peut être obtenu sans frais à l'adresse suivante :

Ressources naturelles Canada,
Service canadien des forêts - Centre de foresterie de l'Atlantique
C.P. 4000
Fredericton (Nouveau-Brunswick) CANADA E3B 5P7
Téléc : (506) 452-3525

Des microfiches ou des copies cette publication sont en vente chez :

Micromédia Ltée.
240, rue Catherine, bur. 305
Ottawa (Ontario) K2P 2G8
Tél : (613) 237-4250
Ligne sans frais : 1-800-567-1914
Téléc : (613) 237-4251

This publication is available in English upon request.

Données de catalogage avant publication de la Bibliothèque nationale du Canada

Vedette principale au titre :

L'élevage prolongé en pépinière porte atteinte au rendement sur le terrain des semis de résineux cultivés en conteneur

(Rapport d'information, ISSN 1195-3802 ; M-X-214F)
Publ. aussi en anglais sous le titre : Extended nursery rearing compromises field performance of container-reared conifer seedlings.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 0-662-87487-0
Cat. no. Fo46-19/214F

1. Conifères — Plants en récipients.
2. Conifères — Croissance.
I. Salonius, P. O.
II. Centre de foresterie de l'Atlantique.
III. Coll.: Rapport d'information (Centre de foresterie de l'Atlantique) ; M-X-214F.

SD397.C7E97 2002 634.9'564 C2002-980171-0

Resumé

Les pépinières commerciales cultivent souvent en conteneurs des semis de résineux pendant de longues périodes pour atteindre des objectifs prédéterminés au chapitre de la taille et du rapport système racinaire/système foliacé (SR/SF) dans le but d'améliorer la survie sur le terrain. Les auteurs étudient les effets de cette pratique. Des jeunes plants d'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss), d'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) et de pin blanc (*Pinus strobus* L.) ont été cultivés dans trois sortes de conteneurs rigides et dans trois types de mottes entourées d'un filet. Ils ont été cultivés ou bien a) pendant une courte période afin de produire assez de racines dans les alvéoles rigides pour en faciliter l'extraction et la manutention, ou bien b) pendant une longue période pour produire des jeunes plants de bonne taille au faible rapport SR/SF. Après quatre saisons de végétation, la croissance en plein champ des plus petits semis élevés pendant une courte période a été régulièrement plus forte que celle des semis qui avaient été soumis à un élevage prolongé. Les auteurs discutent des répercussions de cette constatation sur les pratiques des pépinières.

Mots clés : conteneurs rigides, croissance en plein champ, mottes entourées d'un filet, rapport système racinaire/système foliacé, taille des semis

Summary

Commercial nurseries often grow containerized conifer seedlings for extended periods to reach predetermined size and shoot:root ratio targets in order to enhance field survival. The consequences of this practice are addressed. White spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss), red spruce (*Picea rubens* Sarg.) and eastern white pine (*Pinus strobus* L.) were grown in three hardwall container types and three mesh-covered soil plug types. Seedlings were grown either (a) for a short period designed to produce sufficient rooting in hardwall plugs to facilitate extraction and handling or (b) for an extended growing period, designed to produce large seedlings with low shoot:root ratios. At the end of four growing seasons, the field growth of smaller seedlings from short rearing regimes was consistently greater than field growth of seedlings from extended rearing regimes. Implications for nursery practice are discussed.

Key words: field growth, hardwall containers, mesh-covered plugs, seedling size, shoot:root ratio

Table des matières

Résumé 3

Introduction 7

Matériaux et méthodes 9

Résultats 12

Conteneurs rigides 12

Jiffy 14

Discussion 18

Remerciements 19

Bibliographie 20

INTRODUCTION

La création de semis de résineux plus compétitifs a été stimulée par les restrictions imposées à la préparation des lieux de plantation par le feu et la scarification mécanique (Newton et coll. 1993) ainsi que par la réduction ou l'élimination des herbicides chimiques (Jobidon et coll. 1998). Différentes études ont montré que les jeunes plants de bonne taille possédaient un avantage concurrentiel en matière de croissance sur les semis de petite taille dans les plantations, surtout si la végétation concurrente était vigoureuse (Dobbs 1976, Walker et Johnson 1980, van den Driessche 1982, Caulfield et coll. 1987, Sutherland et Newsome 1988, Newton et coll. 1993, South et Mason 1993). Nombre de ces études portaient sur des jeunes plants à racines nues souvent cultivés à différentes densités en pépinière afin de produire des semis de tailles diverses, et d'autres consistaient en comparaisons entre les semis à racines nues et les semis en conteneur.

Les études par comparaison de la croissance en plein champ des semis en conteneur ont également prouvé les avantages des semis de grande taille sur les petits; on s'est servi de conteneurs à alvéoles plus grandes pour produire des semis de grande taille (McMinn 1982, Simpson 1991, Jobidon et coll. 1998). McMinn (1982) a émis l'hypothèse qu'il était possible d'utiliser des semis de grande taille cultivés en conteneur sans préparer l'emplacement de la plantation au lieu de planter des petits semis cultivés en conteneur sur des emplacements préparés par des moyens mécaniques. Il faut toutefois que la qualité des sujets en conteneur se maintienne si on veut que les semis de grande taille offrent le rendement escompté (McMinn 1982). Il importe particulièrement que la capacité de croissance des racines soit forte pour les semis de grande taille élevés en conteneur (Jobidon et coll. 1998).

Timmis et Tanaka (1976) ont avancé qu'en cultivant des conifères dans des alvéoles de mêmes dimensions à intervalles de plus en plus larges, on obtenait des semis dotés de certaines caractéristiques morphologiques – par exemple un poids anhydre plus élevé et une plus grande vigueur – qui amélioraient leur rendement en plein champ. Toutefois, Salonius et coll. (2000) ont montré que pendant l'endurcissement des semis cultivés en pépinière dans des conteneurs à alvéoles largement espacées, le développement des racines dans les limites de la motte de substrat était à ce point excessif qu'il se traduisait par une densité radiculaire nuisible ultérieurement à la croissance des racines en plein champ.

Les pépinières ont actuellement coutume de mettre en œuvre des régimes de culture prolongée en conteneurs afin d'obtenir des dimensions décidées d'avance et d'abaisser le rapport système racinaire/système foliacé (SR/SF). On a prouvé que l'abaissement dû aux traitements sylvicoles du rapport SR/SF par prolongation de l'élevage aux fins de la production de semis « équilibrés » capables de résister au stress de l'évapotranspiration après la transplantation, s'il était impératif pour les sujets à racines nues, était moins nécessaire, voire nocif, pour les conifères cultivés en conteneur (Walker et Johnson 1980, McGilvray et Barnett 1982, Barnett et Brissette 1986, Bernier et coll. 1995). D'après Bernier et coll. (1995), un faible rapport SR/SF chez les semis de conifères cultivés en conteneur dénoterait peut-être un système radiculaire trop développé pour son contenant et doté de grosses racines subérisées, fortement comprimées à l'intérieur du conteneur. Or, on a prouvé que l'augmentation de la densité racinaire dans les limites d'un conteneur, même avant que le développement des racines soit suffisant pour agglomérer le sol, avait des effets nocifs sur la croissance du semis (Salonius et coll. 2000, Balisky et coll. 1995, Endean et Carlson 1975).

D'après Kinghorn (1978), la formation et la déformation des racines commencent dès que les racines atteignent les extrémités du conteneur. Martinsson (1986) a prétendu qu'aucun type de conteneur ne pouvait offrir aux racines l'espace croissant dont elles avaient besoin et que, par conséquent, plus longtemps les semis étaient cultivés dans les limites des conteneurs, pire était la déformation des racines. Barnett et Brissette (1986) en sont arrivés à des conclusions semblables sur le temps passé en conteneur.

Nos premiers travaux (inédits) sur une multitude de types de sujets élevés en conteneur rigide ont révélé que les corrélations entre le rendement en plein champ et le poids racinaire en pépinière ou le rapport SR/SF étaient très faibles, alors que les corrélations entre le rendement en plein champ et le volume du système foliacé, ou entre le poids de ce système et le diamètre des fûts étaient fortes. Ces observations concordaient avec la découverte que la production actuelle de photosynthétat est la première source d'énergie du nouveau développement racinaire, lequel est indispensable à un bon rendement sur le terrain (Philipson 1987, van den Driessche 1987). Des chercheurs se sont intéressés aux effets des malformations racinaires provoquées par les conteneurs sur la stabilité de la plantation (Lindgren et Orlander 1978, Burdett et coll. 1986) et les taux de croissance des semis repiqués par rapport à ceux des jeunes plants produits par régénération naturelle (Halter et coll. 1993). Toutefois, nul n'a expressément comparé le rendement en plein champ des semis repiqués précocement à celui des jeunes plants repiqués après élevage prolongé dans le même système de contenant.

Le présent rapport porte sur le rendement en plein champ de trois essences résineuses cultivées dans trois types de conteneurs rigides et trois types de mottes recouvertes d'un filet. Nous comparons le rendement en matière de croissance en plein champ des semis précocement transplantés à celui des semis qui ont connu un élevage prolongé en pépinière conçu pour abaisser le rapport SR/SF et pour augmenter la taille des jeunes plants.

MATÉRIAUX ET MÉTHODES

Trois essences résineuses étaient visées par les expériences : l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss), l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) et le pin blanc (*Pinus strobus* L.). Les semis ont été cultivés dans des caissettes rigides à godets multiples de trois tailles et dans des mottes de JIFFY^{MD} recouvertes d'un filet, elles aussi de trois tailles différentes (tableau 1).

Les conteneurs rigides ont été remplis d'un mélange composé de deux parts de tourbe humide pour une part de vermiculite. Les semences ont été placées dans ces conteneurs, puis recouvertes d'une fine couche de gravier calcique. Les mottes de JIFFY non expansé (tourbe fine) ont été ensemencées et recouvertes d'une mince couche de papier-mouchoir, sur laquelle on a posé une fine couche de gravier calcique afin de maintenir les semences en place.

Une durée d'élevage plus longue a été prévue pour les sujets aux mottes les plus grosses (tableau 1). Une culture témoin estivale, semée le 2 mai, a été cultivée dans de l'IPL 45-90 et du Jiffy 96 seulement. Les trois essences ont toutes été semées à chaque occasion. Juste après l'ensemencement, les semis ont été irrigués régulièrement par pulvérisation avec une solution d'engrais (engrais de départ forestier) à raison de 10 mg d'azote par litre pendant les 20 jours de la période de germination. Un supplément de lumière a été fourni chaque nuit pendant deux heures pour éviter la formation de bourgeons en raison de la brève durée du jour. La température de la serre a été maintenue à 25 °C pendant la période de germination.

Tableau 1. Tailles et date de plantation de mottes de terre multipots/recouvertes d'un filet.

Conteneur	Diamètre au sommet (mm)	Volume de sol (cm^3)	Date du semis
STYROPLUG 415D	42	170	4/1
IPL 45-90	38	90	7/2
ROPAK 1-67	32	57	14/3
JIFFY 70	45	90	4/1
JIFFY 98	38	78	7/2
JIFFY 140	32	50	14/3

Une fois terminée la germination des cultures d'hiver, on a éclairci les semis pour les ramener à un par motte ou godet, et on les a emportés dans une serre dont la température diurne se situait à 22° C et la température nocturne à 18° C. Pendant les deux premières semaines qui ont suivi la période de germination, une solution d'engrais de départ forestier a été appliquée à raison de 20 mg d'azote par litre. Les semis ont été irrigués à l'aide de cette solution au moins trois fois par semaine, suffisamment pour saturer le sol et assurer un égouttement au bas de la motte. Avec ce régime d'irrigation, nous étions certains que la concentration des éléments nutritifs serait la même dans les mottes de tous les types de conteneurs. Un engrais de croissance forestier a été appliqué en solution de 50 mg d'azote par litre à partir de la cinquième semaine après l'ensemencement de manière à produire un lessivage abondant pour abaisser le niveau de matières nutritives du sol. Après le lessivage, les semis ont été irrigués à l'eau pendant une semaine pour ralentir la croissance au début de la période d'endurcissement (12–19 juin). Après cette semaine d'arrosage, une solution d'engrais de finition forestier a été appliquée à raison de 35 mg d'azote par litre, à partir du 20 juin. Toutes les cultures d'hiver ont été mises à l'extérieur le 27 juin pour faciliter l'aoûtement pendant l'endurcissement. La fraction de la culture d'hiver qui n'avait pas connu un élevage prolongé a été, en deux jours, transplantée en plein champ à la mi-juillet. La fraction de la culture d'hiver qui avait été soumise à un élevage prolongé est restée dans la zone de culture extérieure jusqu'à ce qu'on ait pu déterminer qu'elle résistait au gel jusqu'à – 15° C. Ces semis ont été mis à hiverner congelés à la fin d'octobre, comme c'est l'usage.

Pour ce qui est des cultures d'été, cultivées dans les mêmes conditions pour ce qui est des matières nutritives, de l'irrigation et de la température, on a supprimé l'éclairage nocturne supplémentaire quand le lessivage a commencé le 23 août. Après apparition des bourgeons, ces semis ont reçu un engrais de finition forestier et des soins sylvicoles pendant l'endurcissement (Columbo et coll. 1989). Ils ont été mis à hiverner congelés une fois qu'on a pu déterminer qu'ils résistaient au gel jusqu'à une température de – 15° C.

Pour ce qui est des semis d'hiver en mottes JIFFY longtemps élevés en pépinière, de nombreuses racines enchevêtrées se sont développées entre les mottes contiguës, de même que pour les semis d'été en mottes JIFFY en raison de la croissance racinaire considérable qui a suivi l'apparition des bourgeons. Il a fallu couper ces racines pour séparer les semis les uns des autres. Cette opération n'a pas été nécessaire pour les semis d'hiver en mottes JIFFY transplantées en juillet, car l'enchevêtrement était léger et ne touchait que de fines radicelles. Deux coupes de racines ont été comparées pour les cultures d'hiver maintenues en pépinière pendant une longue période de croissance. Une coupe précoce a été effectuée le 5 septembre pour permettre aux racines tranchées de cicatriser pendant la période d'endurcissement automnal. La coupe de racines tardive s'est faite le 28 octobre, juste avant que les semis ne soient entreposés congelés; ce traitement n'a pas permis aux racines blessées de guérir. Enfin, la coupe des racines des semis d'été cultivés en mottes JIFFY 96 s'est opérée le 12 décembre, juste avant la congélation des semis.

Pour chaque traitement sylvicole, il y avait en tout 40 semis à soumettre à un échantillonnage destructif et 40 à transplanter. Les données relatives aux cultures d'été proviennent de 20 semis destinés aux mesures destructives et de 20 semis destinés à la transplantation. La hauteur et le diamètre au collet de chaque semis ont été mesurés juste avant que les cultures d'hiver ne soient plantées précocement (juillet) ou juste avant que les cultures d'hiver soumises à un élevage prolongé ou que les cultures d'été ne soient congelées pour l'hivernage. On a lavé les racines pour en détacher la terre, puis on a mis à sécher en commun au four toutes les tiges et toutes les racines provenant de chacun des traitements. Les semis congelés ont été dégelés pendant 48 heures à 20°C et transplantés directement au sortir de leurs

caissettes de congélation au mois de mai suivant. La mesure de la hauteur et du diamètre au collet, tant à la fin de la période d'élevage qu'après plusieurs années de croissance en plein champ, a permis de comparer le volume des semis, volume qu'on a obtenu en multipliant le carré du diamètre au collet (dc) par la hauteur (h); on a constaté qu'il y avait une corrélation entre le produit obtenu ($dc^2.h$) et le poids des tiges (Kira et Shidei 1967, Ruehle 1982, Methven 1983, Wagner et coll. 1989). Les poids des tiges et des racines séchées en commun au four, déterminés à la fin de l'élevage en pépinière, nous ont permis de calculer les rapports SR/SF.

Les semis ont été transplantés en plein champ dans une ancienne pépinière de semis à racines nues en rangées de cinq arbres orientées nord-sud dans des bandes cultivées situées pour leur part dans l'axe est-ouest. Des chiffres de population ont été attribués au hasard dès le départ aux rangées de cinq arbres, de telle sorte qu'il y avait huit rangées pour chacun (quatre plantées en 1994, quatre en 1995) des traitements d'hiver et quatre rangées pour chacun des traitements d'été. Après plantation précoce des semis d'hiver en juillet 1994, les rangées restantes sont restées inoccupées jusqu'à ce qu'on y transplante, en mai 1995, les semis qui avaient été entreposés congelés. Les rangées de cinq arbres étaient espacées de 38 cm et les semis de 25 cm à l'intérieur des rangées.

Des mesures ont été prises sur le terrain en août 1997. À cette époque, les semis d'hiver transplantés en juillet 1994 poussaient en plein champ depuis quatre saisons. Leurs homologues, qui avaient été soumis à des soins sylvicoles prolongés en pépinière et mis à hiverner congelés, croissaient en plein champ depuis trois saisons de végétation, de même que les semis d'été qui avaient eux aussi été entreposés congelés avant d'être transplantés en mai 1995.

RÉSULTATS

Conteneurs rigides

On peut voir à la figure 1 les volumes des semis d'épinette blanche pour les trois types de conteneurs rigides au moment de la plantation ainsi qu'après plusieurs saisons de croissance en plein champ. Les semis d'hiver transplantés au sortir de leur entreposage congelé en mai 1995 étaient plus grands que leurs homologues transplantés précocement en juillet 1994 et leur rapport SR/SF plus petit (tableau 2). Cet avantage sur le plan de la taille avait disparu au moment des mesures finales sur le terrain, prises en août 1997. Le phénomène était le même pour chacun des trois types de conteneurs rigides (fig. 1). Le rendement en plein champ des semis d'été d'épinette blanche élevés en conteneurs IPL 45-90 (congelés le 12 décembre 1994) se situait à mi-chemin entre celui des cultures d'hiver transplantées précocement et celui des cultures d'hiver élevées longtemps en pépinière; ces semis avaient été confinés dans leurs conteneurs beaucoup moins longtemps que les semis d'hiver soumis à un élevage prolongé en pépinière. Les rapports SR/SF des semis d'été et des semis d'hiver élevés longtemps en pépinière dans des conteneurs IPL 45-90 étaient plus bas après transplantation que celui des semis d'hiver plantés précocement en juillet 1994 (tableau 2).

La courbe de réponse en plein champ s'est répétée pour les jeunes plants d'épinette rouge semés dans les trois types de conteneurs rigides (fig. 2) : les semis transplantés précocement étaient plus grands en août 1997 que ceux qui étaient restés en pépinière pour prendre de la hauteur et obtenir un rapport SR/SF réduit avant transplantation en mai 1995 (tableau 2). Bien que la croissance en plein champ des épinettes rouges d'été cultivées en conteneurs IPL 45-90 se soit située au point de vue du volume entre celle des semis transplantés précocement et celle des semis élevés longtemps en pépinière en août 1997,

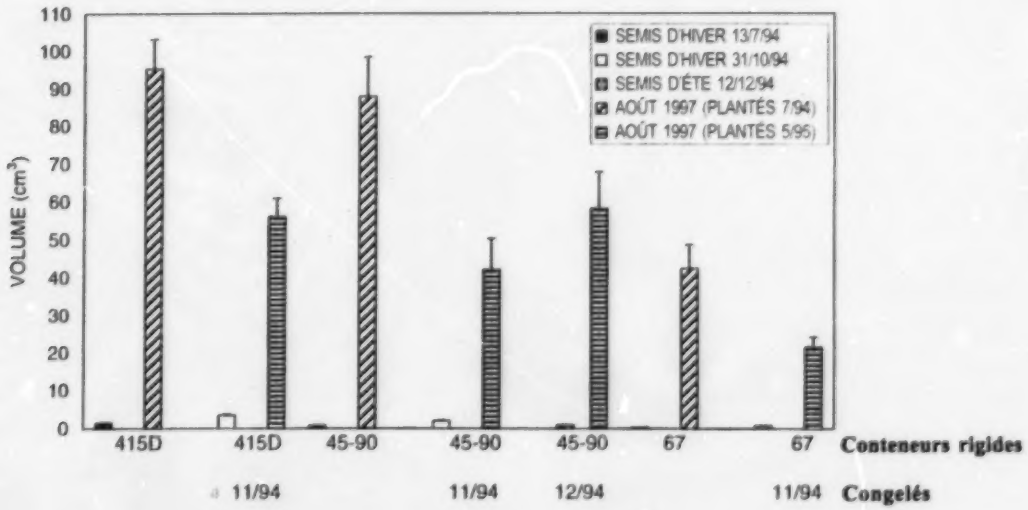


Figure 1. Volumes moyens (±SE) des semis de pin blanc plantés tôt et cultivés pendant une période prolongée dans des contenants à parois rigides, au moment de la plantation et après plusieurs saisons sur le terrain.

Tableau 2. Hauteur, diamètre du collet des racines (±SE, n = 40/hiver, n = 20/été) et ratios pousses/racines des populations de semis au moment de la plantation.

				Épinette blanche			Épinette rouge			Pin blanc		
Conteneur	Culture	Racine coupée	Date plant.	Haut. (cm)	DC (mm)	SR/SF	Haut. (cm)	DC (mm)	SR/SF	Haut. (cm)	DC (mm)	SR/SF
415D	Hiver	-	7/94	20,1±0,54	2,6±0,07	5,03	23,7±0,73	2,3±0,08	4,77	9,9±0,41	2,6±0,06	3,17
415D	Hiver	-	5/95	23,5±1,13	3,6±0,10	2,84	34,2±0,84	3,0±0,10	2,85	10,9±0,66	2,9±0,10	1,73
70	Hiver	-	7/94	15,4±0,54	1,9±0,07	7,37	20,8±0,47	1,8±0,06	7,27	9,4±0,47	2,2±0,06	5,56
70	Hiver	9/94	5/95	19,2±0,87	3,1±0,10	4,38	27,3±0,66	2,5±0,08	5,10	10,3±0,56	2,9±0,10	3,39
70	Hiver	10/94	5/95	19,1±0,85	3,0±0,11	4,35	32,3±0,98	2,8±0,11	5,29	10,6±0,47	2,6±0,10	3,48
45-90	Hiver	-	7/94	17,9±0,50	1,9±0,07	4,98	18,5±0,61	1,6±0,07	5,00	9,4±0,30	1,7±0,04	4,13
45-90	Hiver	-	5/95	21,1±0,82	2,9±0,10	3,31	28,3±0,90	2,3±0,09	3,68	10,2±0,38	2,3±0,07	1,72
45-90	Été	-	5/95	21,5±0,70	2,0±0,07	4,17	22,2±0,57	1,7±0,08	3,68	8,4±0,37	1,5±0,10	2,00
96	Hiver	-	7/94	18,1±0,82	2,0±0,06	10,85	20,4±0,48	1,8±0,06	9,35	9,5±0,37	2,3±0,06	7,30
96	Hiver	9/94	5/95	18,9±0,83	2,6±0,12	6,88	29,7±1,01	2,4±0,08	8,99	10,4±0,56	2,3±0,06	5,92
96	Hiver	10/94	5/95	19,6±0,77	2,8±0,11	6,26	29,7±1,03	2,4±0,09	9,25	9,6±.033	2,3±0,07	6,29
96	Été	12/94	5/95	22,2±0,97	2,0±0,11	5,38	21,4±0,88	1,9±0,08	5,60	7,2±0,27	1,4±0,08	7,58
67	Hiver	-	7/94	12,3±0,31	1,5±0,05	4,64	13,5±0,34	1,3±0,04	5,15	8,1±0,20	1,7±0,06	3,95
67	Hiver	-	5/95	14,3±0,78	2,1±0,08	2,74	23,5±0,57	1,7±0,06	3,54	9,6±0,36	1,9±0,06	1,59
140	Hiver	-	7/94	15,2±0,53	1,5±0,06	10,69	13,7±0,44	1,2±0,05	8,50	8,0±0,20	1,7±0,05	6,78
140	Hiver	9/94	5/95	17,1±0,92	2,4±0,09	5,98	22,1±0,68	1,7±0,06	7,82	9,3±0,39	2,1±0,07	4,29
140	Hiver	10/94	5/95	17,0±0,83	2,4±0,08	6,68	20,0±0,97	1,6±0,09	6,26	8,8±0,32	1,9±0,07	5,21

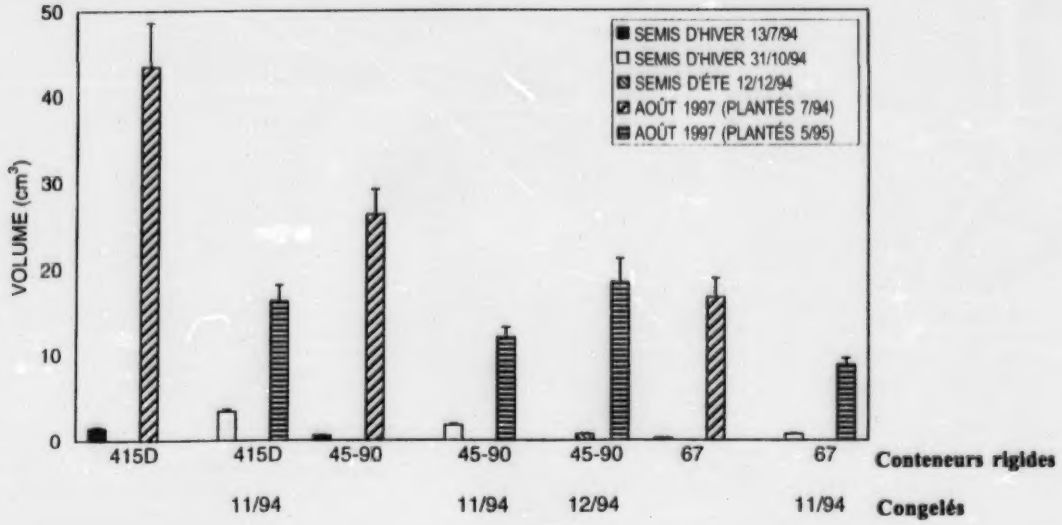


Figure 2. Volumes moyens (±SE) des semis d'épinette rouge plantés tôt et cultivés pendant une période prolongée dans des contenants à parois rigides, au moment de la plantation et après plusieurs saisons sur le terrain.

la moyenne du rapport SR/SF de ces semis d'été au moment de la transplantation était la même que celle des cultures d'hiver ayant séjourné longtemps en pépinière et beaucoup plus basse que celle des épinettes rouges semées en hiver et transplantées en juillet 1994 (tableau 2).

Les résultats obtenus pour les semis de pin blanc élevés dans les trois types de conteneurs rigides (fig. 3) montrent que le rendement en plein champ des cultures d'hiver transplantées précocement est supérieur à celui de leurs homologues soumis à un élevage prolongé. Le rendement en plein champ du pin blanc élevé en été a été moins bon que celui des cultures d'hiver soumises à un élevage prolongé, même si son rapport SR/SF au moment de la plantation se situait à mi-chemin entre celui des semis d'hiver maintenus longtemps en pépinière et celui des semis transplantés précocement (tableau 2).

Jiffy

La représentation graphique des résultats du système d'élevage en mottes (recouvertes d'un filet) JIFFY est plus compliquée parce que les semis d'hiver soumises à un élevage prolongé se subdivisaient en deux groupes. Pour un de ces groupes, on avait coupé précocement (le 5 septembre 1994) les racines enchevêtrées entre les mottes voisines, alors que pour l'autre, ces racines avaient été coupées juste avant la congélation en vue de l'entreposage hivernal (le 28 octobre 1994).

Le rendement en plein champ des semis d'épinette blanche élevés dans chacun des trois formats JIFFY pour une longue période a été nettement inférieur à celui de leurs homologues transplantés précocement (fig. 4). Le volume de l'épinette blanche semée en hiver et soumise à un élevage prolongé en pépinière était en général deux fois plus grand au moment de la transplantation, en mai 1995, que celui de ses homo-

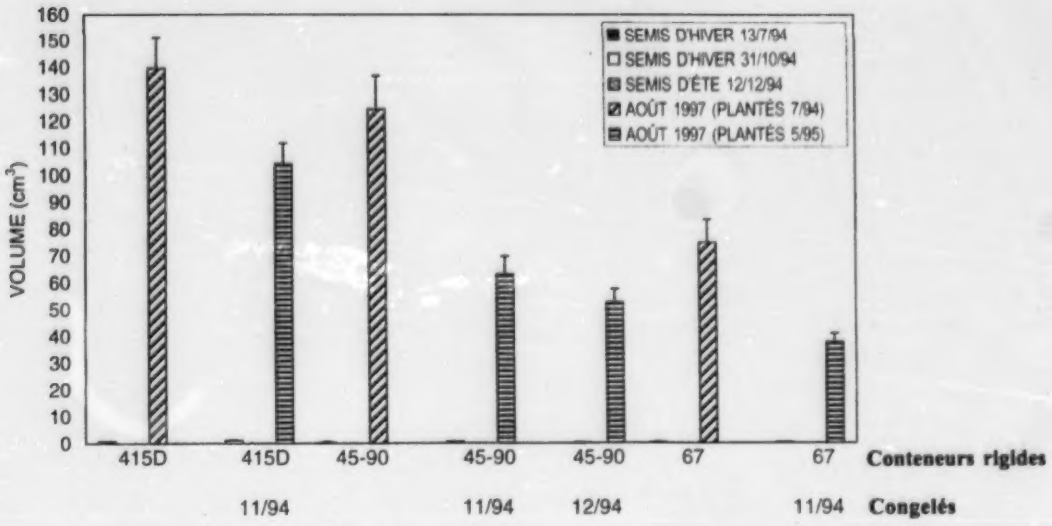


Figure 3. *Volumes moyens (±SE) des semis de pin blanc plantés tôt et cultivés pendant une période prolongée dans des contenants à parois rigides, au moment de la plantation et après plusieurs saisons sur le terrain.*

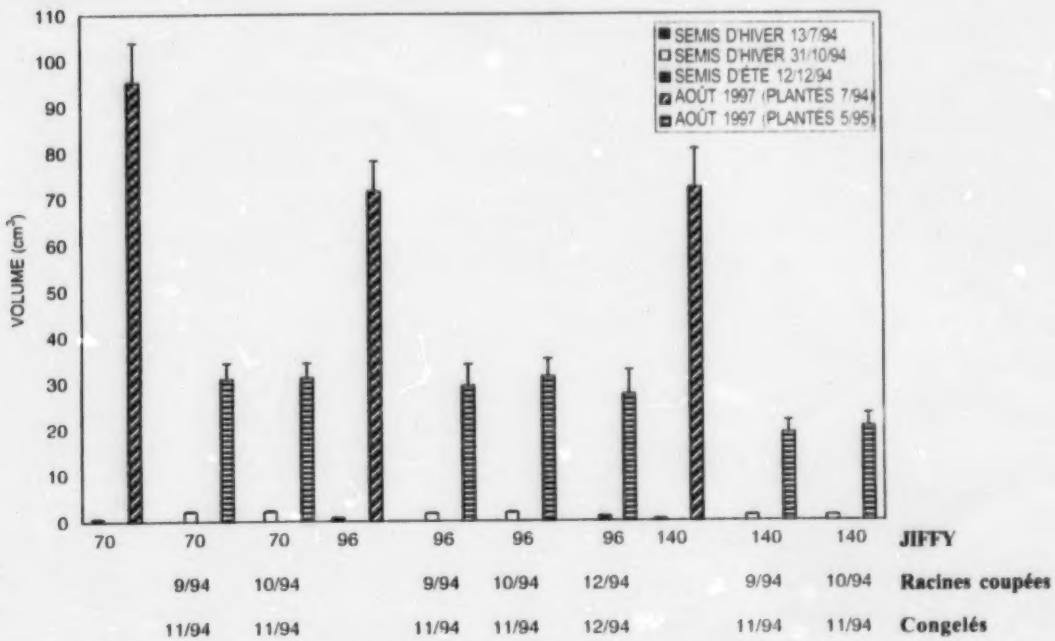


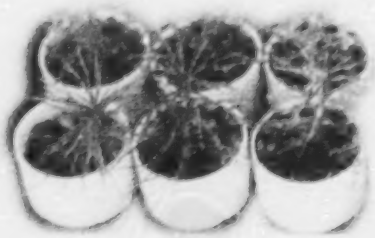
Figure 4. *Volumes moyens (±SE) des semis d'épinette blanche plantés tôt et cultivés pendant une période prolongée (taille des racines précoce et tardive) dans une motte JIFFY, au moment de la plantation et après plusieurs saisons sur le terrain.*

logues transplantés en juillet 1994 à la fin de leur séjour en pépinière, et le total du volume de ces cultures d'élevage prolongé était inférieur à la moitié de celui atteint par les groupes précocement transplantés après plusieurs saisons de croissance en plein champ. Les semis estivaux d'épinette blanche élevés en mottes JIFFY 96 présentaient un rapport SR/SF situé à mi-chemin entre celui des semis d'élevage prolongé dont les racines avaient été coupées tardivement et celui des semis d'hiver transplantés précocement au moment de la plantation (tableau 2). En ce qui concerne les semis d'hiver d'épinette blanche en mottes JIFFY soumis à un élevage prolongé, on a constaté peu de différence au chapitre du rendement en plein champ entre les semis dont les racines avaient été coupées en septembre (9/94) et ceux dont les racines avaient été coupées à la fin d'octobre, juste avant la mise en entreposage congelé (10/94) (fig. 4).

On peut voir à la fig. 5 les volumes des semis d'épinette rouge pour les trois types de mottes JIFFY, au moment de la plantation et après plusieurs saisons de croissance en plein champ. Si le volume des semis d'élevage prolongé était beaucoup plus élevé que celui des semis d'hiver précocement transplantés au moment de la plantation, les semis d'élevage prolongé étaient considérablement plus petits après plusieurs saisons de croissance sur le terrain. Le rapport SR/SF des semis d'été en JIFFY 96 était, au moment de la plantation, plus bas que celui des semis dont les racines avaient été coupées précocement, que celui des semis dont les racines avaient été coupées tardivement ou que celui des semis d'hiver transplantés en juillet 1994 (tableau 2). Les résultats obtenus, pour ce qui est du volume en plein champ, pour les semis d'épinette rouge en mottes JIFFY dont les racines avaient été coupées en septembre (9/94) ou à la fin octobre (10/94) ne sont pas uniformes; pour les formats JIFFY 70 et 140, la coupe tardive s'est traduite par un meilleur volume cumulé sur le terrain, mais pour les mottes JIFFY 96, la coupe précoce a produit une meilleure croissance.

On verra à la fig. 6 les volumes des semis de pin blanc élevés dans les trois tailles de mottes JIFFY, au moment de leur transplantation en plein champ ainsi qu'à la date où on en a pris les mesures finales, en août 1997. Le volume cumulé sur le terrain des cultures d'élevage prolongé était beaucoup plus bas que l'accroissement des cultures d'hiver transplantées précocement. Le rendement des sujets d'été semés en JIFFY 96 se situait à mi-chemin entre celui des semis dont les racines avaient été coupées précocement et celui des semis dont les racines avaient été coupées tardivement, comme c'était le cas pour l'épinette rouge. Le rapport SR/SF des semis d'été était, au moment de la plantation en plein champ, plus élevé que celui des cultures d'hiver aux racines coupées tardivement et que celui des cultures d'hiver transplantées en juillet.

S'il est de pratique courante d'élever longtemps les jeunes plants en pépinière, c'est pour obtenir des semis plus grands et plus aptes à survivre; la mortalité a été quasi inexistante dans le cadre de notre étude de transplantation.



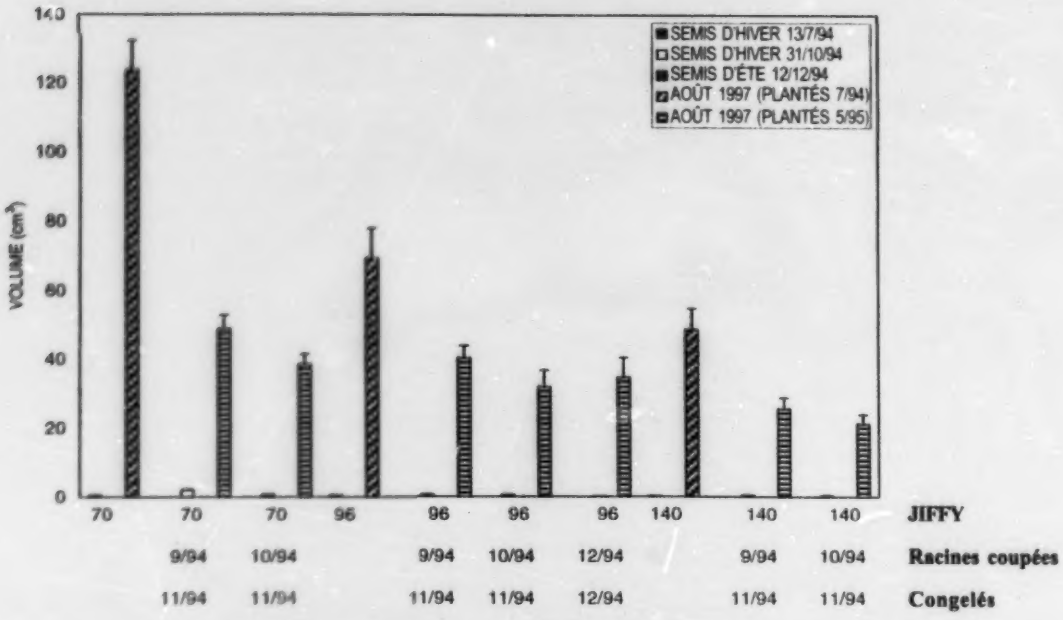


Figure 5. *Volumes moyens (±SE) des semis d'épinette rouge plantés tôt et cultivés pendant une période prolongée (taille des racines précoce et tardive) dans une motte JIFFY, au moment de la plantation et après plusieurs saisons sur le terrain.*

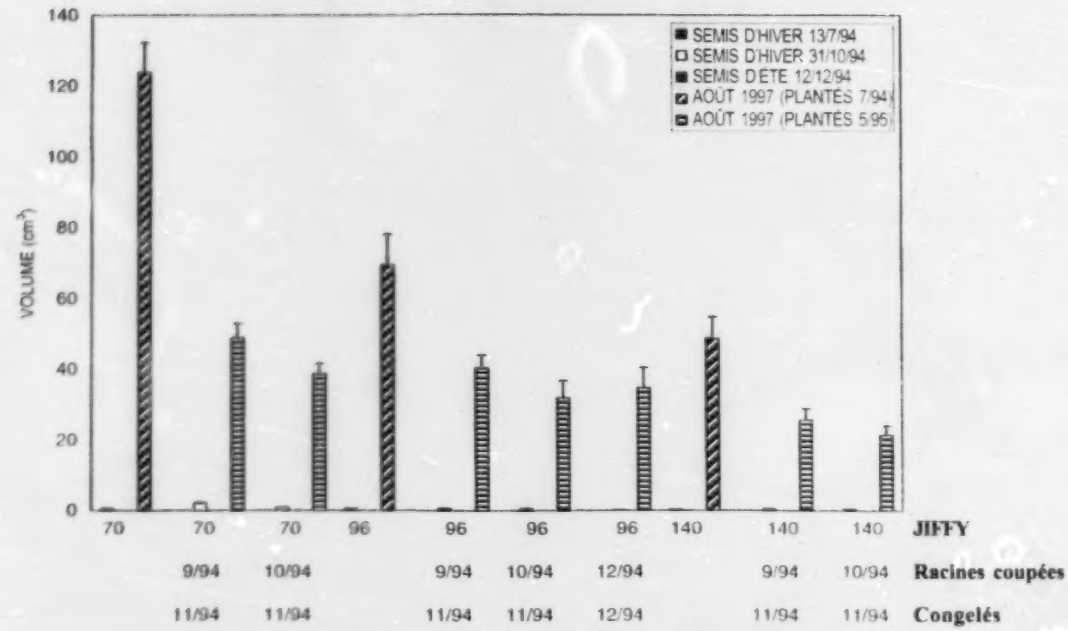


Figure 6. *Volumes moyens (±SE) des semis de pin blanc plantés tôt et cultivés pendant une période prolongée (taille des racines précoce et tardive) dans une motte JIFFY, au moment de la plantation et après plusieurs saisons sur le terrain.*

DISCUSSION

Nous avons démontré que l'élevage prolongé en pépinière, qui est de pratique courante pour produire en conteneurs des semis de résineux plus gros tout en abaissant leur rapport SR/SF pour améliorer leur capacité de survie était régulièrement nuisible à la croissance pour les trois essences de conifères cultivés dans trois types de conteneurs rigides et dans trois types de mottes en filet. Cette constatation va dans le sens des conclusions de Bernier et coll. (1995), qui avaient avancé que pour les semis cultivés en conteneur, un faible rapport SR/SF pouvait dénoter un développement racinaire excessif et la présence de grosses racines subérisées, incapables de réaction rapide, fortement comprimées à l'intérieur des parois du conteneur. On désigne souvent l'état de ces systèmes radiculaires très denses à l'intérieur de la motte des conteneurs sous le nom de « feutrage radiculaire ». Les résultats de la présente étude laissent entendre que s'il y a une corrélation entre le rapport SR/SF des semis en conteneur au moment de la plantation et leur rendement ultérieur en plein champ, cette corrélation serait négative; ce sont les semis au rapport SR/SF le plus grand qui croissent le mieux. McGilvray et Barnett (1982) avaient déjà signalé cette corrélation négative entre le rapport SR/SF des semis en conteneurs transplantés et la croissance en hauteur en plein champ.

Le rapport SR/SF des semis cultivés dans les conteneurs JIFFY est toujours plus élevé que celui des semis cultivés dans des conteneurs rigides, même si la taille de la motte est la même, à cause de la densité plus forte des semis. Il a été prouvé qu'un surcroît de densité ou d'entassement des semis produisait un rapport SR/SF plus élevé pour les semis cultivés en conteneur (Salonius et coll. 2000, Simpson 1991, Timmis et Tanaka 1976); il n'y a pas d'espace entre les mottes recouvertes de filet dans les systèmes JIFFY alors qu'il y a toujours une certaine distance entre les alvéoles des systèmes à parois rigides.

Salonius et coll. (2000) et Bernier et coll. (1995) ont mentionné l'importance de l'allongement rapide des racines pour le rendement des semis après la transplantation. D'après la théorie de Martinsson (1986) et les résultats de Balisky et coll. (1995) et de Barnett et Brissette (1986) concernant l'effet de la durée de séjour en conteneur sur la forme des racines, le médiocre rendement en plein champ obtenu par les semis d'élevage prolongé visés par la présente étude peut être dû à la déformation des racines et à leur incapacité—de ce fait—à en enfoncer de nouvelles rapidement dans le sol, sur les lieux de plantation, pour aller chercher l'eau et les nutriments.

D'après les protocoles de culture adoptés pour les conteneurs à alvéoles rigides, il faut que les racines se développent suffisamment dans l'alvéole pour agglomérer la motte, mais les travaux d'Endean et Carlson (1975) ont montré que l'accroissement de la densité racinaire commençait à limiter la croissance des semis fort tôt pendant la culture en conteneur. Selby et Seaby (1982) ont démontré que les principales racines secondaires disposaient de peu de temps pour se former après la germination des semences; on peut en conclure que ces racines seront généralement sérieusement déformées dans la plupart des conteneurs. L'existence d'une forte corrélation entre l'augmentation de la densité racinaire dans les conteneurs à parois rigides et la diminution du développement racinaire en plein champ a été signalée (Salonius et coll. 2000). Kinghorn (1978) était d'avis que l'obligation où étaient les principales racines secondaires de pousser à la verticale et non à l'horizontale en raison des parois qui les entouraient était un des plus grands inconvénients des conteneurs rigides. On a prouvé que les racines des jeunes plants cultivés en filets se déformaient moins que celles en conteneurs rigides, même après un séjour prolongé en pépinière (Balisky et coll. 1995). Si l'on accepte de disposer de plus petits plants au moment de la transplantation, on peut éliminer complètement la déformation racinaire; les semis en mottes recouvertes

de filet comme les mottes JIFFY peuvent se transplanter n'importe quand après la germination des semences, parce que le filet assure la cohésion et l'intégrité des racines et du substrat. On peut donc les transplanter avant toute déformation des racines.

Encore que l'élevage prolongé ait entraîné des inconvénients sur le plan de la croissance dans tous les systèmes, à alvéoles rigides ou à mottes en filet, les effets de cet élevage sur les racines diffèrent d'un système à l'autre. Toutes les racines apparues dans les mottes en conteneur rigide sont transplantées, même si le système radiculaire des semis d'élevage prolongé est plus subérisé, plus tassé et moins élastique que celui des semis élevés moins longtemps. Dans le système JIFFY, nous avons constaté que le nombre d'extrémités radiculaires actives qui s'introduisaient dans les touffes de racines des semis voisins augmentait proportionnellement au retard de la transplantation. Ces racines se perdaient pendant la coupe nécessaire pour séparer les cellules individuelles les unes des autres avant la plantation. Burdett et coll. (1986) présumaient qu'en élaguant les grosses racines secondaires déformées par la croissance en conteneur, on leur permettait de reprendre leur croissance normale à l'horizontale après la transplantation. Bigras (1998) a montré que l'élagage modéré des racines augmentait moyennement la croissance en plein champ de l'épinette noire élevée longtemps en pépinière et que les blessures considérables infligées aux racines par l'élagage diminuaient légèrement la croissance en plein champ. Aucun chercheur n'a essayé de savoir si, en reprenant leur croissance sur les lieux de plantation, les racines secondaires déformées, élaguées juste en dessous du collet dans la partie supérieure de la motte, se remettaient à fonctionner comme les principales racines secondaires non déformées par le séjour en conteneur. Les comparaisons entre la coupe précoce des racines destinée à donner à ces dernières le temps de repousser et de guérir et la coupe opérée juste avant l'entreposage congelé ne permettent pas de tirer des conclusions définitives sur le moment idéal de cette opération.

Quatre mois de séjour prolongé en pépinière dans des conteneurs à alvéoles rigides ou en filets, conçus pour produire des semis plus grands au rapport SR/SF plus bas, n'ont pas produit d'avantage sur le plan de la croissance en plein champ et, en fait, nous avons constaté dans le cadre de nos recherches que cette pratique sylvicole allait à l'encontre du but visé. On devrait obtenir un meilleur rendement en plein champ avec des semis en conteneur dont le développement racinaire ne dépasse pas de beaucoup le volume de la motte. Ce stade devrait être atteint quand les racines des semis en conteneur rigide agglomèrent juste assez la motte pour qu'il soit facile de l'extraire et de la manipuler sans faire tomber la terre des racines. Pour les systèmes à filets, ce stade devrait être atteint avant que les racines n'empiètent trop sur les mottes voisines.

Les semis vigoureux aux racines juvéniles à réaction rapide qui acquièrent une haute taille et de la vigueur en plein champ ont un meilleur rendement que ceux qui deviennent grands et vigoureux en pépinière au cours d'un séjour prolongé dans les limites de leur conteneur.

REMERCIEMENTS

Nous avons beaucoup apprécié l'aide technique de B. Roze
et les services de pépinière fournis par J. Lewis.

BIBLIOGRAPHIE

Balisky, A.C., Salonius, P., Walli, C. et Brinkman, D. 1995. Seedling roots and the forest floor: misplaced and neglected aspects of British Columbia's reforestation effort? For. Chron. 71: 59–65.

Barnett, J.P. et Brissette, J.C. 1986. Producing southern pine seedlings in containers. USDA Forest Service, Rapp. gén. techn. SO-59, 71 p.

Bernier, P.Y., Lamhamedi, M.S. et Simpson, D.G. 1995. Shoot:root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. Tree Planters' Notes 46: 102–106.

Bigras, F.J. 1998. Field performance of containerized black spruce seedlings with root systems damaged by freezing or pruning. New Forests 15: 1–9.

Burdett, A.N., Coates, H., Ermko, R. et Martin, P.A.F. 1986. Toppling in British Columbia's lodgepole pine plantations: significance, cause and prevention. For. Chron. 62: 433–439.

Caulfield, J.P., South, D.B. et Boyer, J.N. 1987. Nursery seedbed density is determined by short-term and long-term objectives. South. J. Appl. For. 11: 9–14.

Columbo, S.J., Glerum, C. et Webb, D.P. 1989. Winter hardening in first-year black spruce (*Picea mariana*) seedlings. Physiol. Plant. 76: 1–9.

Dobbs, R.C. 1976. Effect of initial mass of white spruce and lodgepole pine planting stock on field performance in the British Columbia interior. Serv. can. des for. Rapp. d'info., BC-X-149, 14 p.

Endean, F. et Carlson, L.W. 1975. The effect of rooting volume on the early growth of lodgepole pine seedlings. Can. J. For. Res. 5: 55–60.

Halter, M.R., Chanway, C.P. et Harper, G.J. 1993. Growth reduction and root formation of containerized lodgepole pine saplings 11 years after planting. For. Ecol. Manage. 56: 131–146.

Jobidon, R., Charette, L. et Bernier, P.Y. 1998. Initial size and competing vegetation effects on water stress and growth of *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. seedlings planted in three different environments. For. Ecol. Manage. 103: 293–305.

Kinghorn, J.M. 1978. Minimizing potential root problems through container design. *In* E. van Eerden et J.M. Kinghorn (réd.) Compte rendu, Sympose sur la forme racinaire des arbres plantés. Ministère des forêts de la Colombie-Britannique / Service canadien des forêts Rapport joint n° 8, p. 311–318.

Kira, T. et Shidei, T. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific. Jap. J. Ecol. 17: 70–87.

Lindgren, O. et Orlander, G. 1978. A study on root development and stability of 6- to 7-year-old container plants. *In* E. van Eerden et J.M. Kinghorn (réd.) Compte rendu, Sympose sur la forme racinaire des arbres plantés. Ministère des forêts de la Colombie-Britannique / Service canadien des forêts Rapport joint n° 8, p. 142–144.

Martinsson, O. 1986. Tap root formation and early root/shoot ratio of *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris*. Scand. J. For. Res. 1: 233–242.

McGilvray, J.M. et Barnett, J.P. 1982. Relating seedling morphology to field performance of containerized southern pines. *In* R.W. Guldin et J.P. Barnett (réd.). Compte rendu, Conférence sur les semis forestier en conteneurs au Sud. USDA Forest Service, Rapp. gén. techn., SO-37, p. 38–46.

McMinn, R.G. 1982. Size of container-grown seedlings should be matched to site conditions. *In* J.B. Scarrat, C. Glerum et C.A. Plexman (réd.). Proceedings of the Canadian Containerized Tree Seedling Symposium. Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, ON, COJFRC Symposium Proceedings O-P-10. p. 307–312.

Methven, I.R. 1983. Tree biomass for young plantation growth of red pine (*Pinus resinosa*) in the Maritimes Lowland ecoregion. Serv. can. des forêts - Centr. de for. Atl., Rapp. d'info. M-X-147. 15 p.

Newton, M., Cole, E.C. et White, D.E. 1993. Tall planting stock for enhanced growth and domination of brush in the Douglas-fir region. New Forests 7: 107–121.

Philipson, J.J. 1987. Root growth in Sitka spruce and Douglas-fir transplants: dependence on the shoot and stored carbohydrates. Tree Physiology 4: 101–108.

Ruehle, J.L. 1982. Field performance of container-grown loblolly pine seedlings with specific ectomycorrhizae on a reforestation site in South Carolina. South. J. App!. For. 6: 30–33.

Salonius, P., Beaton, K. et Roze, B. 2000. Effets de la taille et de l'espacement des cellules sur la densité radiculaire et sur le rendement en plein champ d l'épinette noire cultivée dans des conteneurs. Can. For. Serv. Inf. Rep. M-X-208F.

Selby, C. et Seaby, D.A. 1982. The effect of auxins on *Pinus contorta* seedling root development. Forestry 55: 125–135.

Simpson, D. 1991. Growing density and container volume affect nursery and field growth of interior spruce seedlings. North. J. Appl. For. 8: 160–165.

South, D.B. et Mason, W.L. 1993. Influence of differences in planting stock size on early height growth of Sitka spruce. Forestry 66: 83–96.

Sutherland, C. et Newsome, T. 1988. Field performance of five interior spruce stock types with and without fertilization at the time of planting. *In* T. Landis, (Coord. techn.). Compte rendu, Réunions combinées des Associations des pépinières de l'Ouest. USDA Forest Service Rapp. gén. techn., RM-167. p. 195–198.

Timmis, R. et Tanaka, Y. 1976. Effects of container density and plant water stress on growth and cold hardiness of Douglas-fir seedlings. For. Sci. 22: 167–172.

van den Driessche, R. 1982. Relationship between spacing and nitrogen fertilization of seedlings in the nursery, seedling size, and outplanting performance. Can. J. For. Res. 12: 865–875.

Wagner, R.G., Peterson, T.D., Ross, D.W. et Radosevich, S. 1989. Competition thresholds for survival and growth of ponderosa pine seedlings associated with woody and herbaceous vegetation. New Forests 3: 151–170.

Walker, N.R. et Johnson, H.J. 1980. Containerized conifer seedling performance in Alberta and the Northwest Territories. Serv. can. for. - Ctr. for. du Nord, Rapp. d'info. NOR-X-218, 32 p.